

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

Измерение электрических параметров заземляющих устройств

7.1. Измерение электрического сопротивления земли

Удельное электрическое сопротивление земли по глубине определяется методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) при помощи измерителя сопротивления заземления МС-08 (07) или М-416 (рис. 7.1), а также ИКС-1 или ИКС-50. К токовым электродам АВ подключаются токовые выводы прибора; напряжение между потенциальными электродами подается на потенциальные выводы прибора. По измеренному значению сопротивления $\rho_{\text{изм}}$ определяется кажущееся удельное сопротивление:

$$\rho_k = k\rho_{\text{изм}}, \quad (7.1)$$

где k — коэффициент, зависящий от расстояния между электродами измерительной установки [20].

При равных расстояниях между электродами, т. е. при $a = AB/3$,

$$k = 2\pi a,$$

где a принимается равным двойной глубине слоя грунта, до которого производится измерение ρ .

При исследовании изменения сопротивления грунта по глубине целесообразно провести 10—15 измерений при различных расстояниях между электродами. Центр установки O при этом остается неизменным. Трассу для измерений нужно выбирать на расстоянии 5—10 м от металлических коммуникаций.

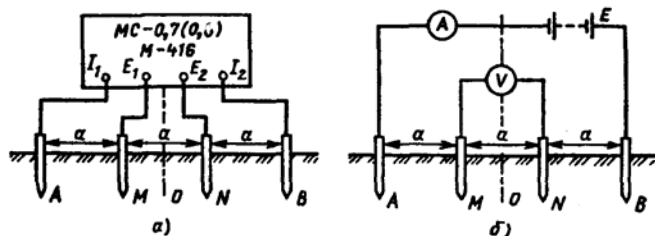


Рис. 7.1. Схема для определения удельного сопротивления грунта: а — измерителем заземления МС-08 (М-416), б — по методу амперметра-вольтметра

Значения k для соответствующих расстояний между электродами при проведении измерений с разносом электродов следующие:

AB, м	20	30	45	60	90	120	150	200
MN, м	6,6	10	15	20	30	40	50	66
k	42,1	62,8	94,2	125,6	188,4	251,2	314	421

Рассчитанные по формуле (7.1) значения кажущегося удельного сопротивления грунта следует представить в виде графика, называемого кривой ВЭЗ на логарифмической бумаге с логарифмической единицей, равной 6,25 см.

По оси ординат откладывают значения ρ_k , а по оси абсцисс— $0,5 AB$ (в метрах). Для определения параметров двухслойного грунта удельного сопротивления первого и второго слоев ρ_1 , ρ_2 и мощности верхнего слоя h_1 пользуются расчетными кривыми—палетками (рис. 7.2). Полученную экспериментальную кривую калькулируют вместе с осями координат и накладывают на набор палеток. Перемещая кальку по набору палеток, добиваются наилучшего совпадения кривой с одной из теоретических кривых. Оси координат при этом должны оставаться параллельными. Затем, отсчитав ординату эмпирической кривой ρ'_k , отсекаемую осью абсцисс палетки λ , получают удельное сопротивление верхнего слоя грунта.

Ось ординат палетки ρ_k отсекает на оси абсцисс эмпирической кривой λ' отрезок h_1 , определяющий глубину границы раздела слоев, т. е. толщину верхнего слоя. Сопротивление второго слоя определяется асимптотой эмпирической кривой при больших значениях $AB/2$ [21].

На рис. 7.3 приведен пример определения параметров грунта. В рассматриваемом примере экспериментальная кривая ВЭЗ (штриховая линия 2) совпадает с палеткой $\rho_2/\rho_1 = 1/4$. Палетка построена в осях координат; ρ_k — ось ординат;

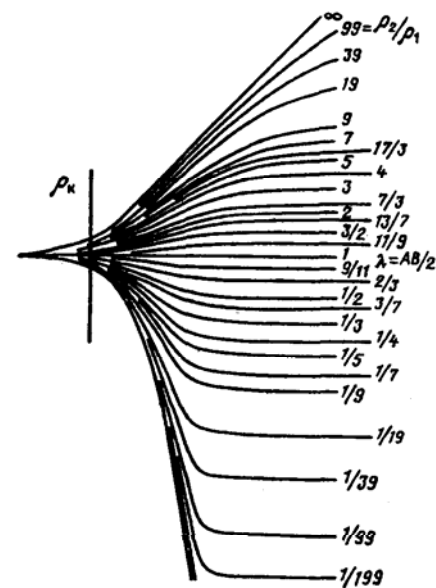


Рис. 7.2. Палетка ВЭЗ

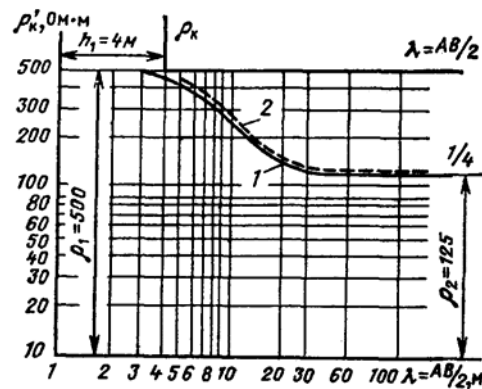


Рис. 7.3. Определение параметров электрической структуры грунта:
1 — кривая палетки ВЭЗ; 2 — экспериментальная кривая ВЭЗ

λ — ось абсцисс; оси координат экспериментальной кривой ρ'_k и λ' . При совмещении кривой ВЭЗ с палеткой ось ординат палетки ρ_k отсекает на оси абсцисс экспериментальной кривой λ' отрезок, определяющий толщину верхнего слоя $h_1 = 4$ м. Ось абсцисс палетки 1 отсекает на оси ординат эмпирической кривой ρ'_k ординату ρ'_k , определяющую сопротивление верхнего слоя грунта. Для рассматриваемого примера $\rho_1 = 500$ Ом·м. Сопротивление второго слоя $\rho_2 = \rho_1/4 = 125$ Ом·м.

7.2. Измерение сопротивления растеканию заземляющих устройств

Измерение сопротивления заземлителей. Методы измерения электрических характеристик заземляющих устройств должны обеспечивать следующие основные требования: ошибки при измерении не должны превышать 10%; малая трудоемкость измерения; электробезопасность персонала, выполняющего измерения, а также лиц, случайно прикасающихся во время измерения к заземленным частям электроустановок. Приборы должны обеспечивать максимально возможную помехозащищенность.

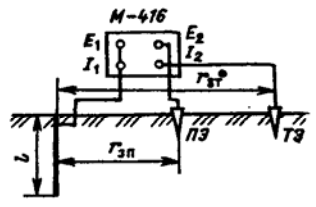
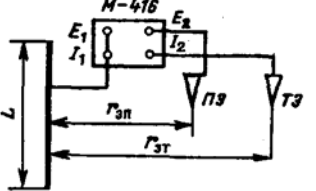
Экспериментальное определение сопротивления заземляющего устройства сводится к одновременному измерению напряжения на нем и стекающего в землю тока. Для этого используют так называемую схему амперметра — вольтметра.

Измерение сопротивления растеканию одиночных заземлителей производят по схемам, указанным в табл. 7.1.

Измерение сопротивления заземляющего устройства. Сопротивление заземляющих устройств следует измерять по общепринятому методу амперметра — вольтметра (рис. 7.4), при этом используется измеритель заземления со шкалой градуированной непосредственно в омах. Можно также использовать комплект геофизической аппаратуры ИКС-50.

Точность измерения зависит в основном от правильности расположения измерительных электродов: токового T и потенциального $П$. При различных геоэлектрических разрезах грунта (различных соотношениях удельных

Таблица 7.1. Схемы измерения сопротивления растеканию одиночных заземлителей

Измерение сопротивления растеканию	Схема измерения	Приборы	Особенности измерения
Одиночные вертикальные заземлители		Измерители заземления М-416, МС-08, МС-07, Ф4103	Расстояние между электродами принимается: а) при $l \leq 6$ м $r_{3т} = 40$ м; $r_{3п} = 25$ м; б) при $l > 6$ м $r_{3т} > 6l$, $r_{3п} = 0,5 r_{3т}$
Одиночные горизонтальные полосы		То же	а) при $L > 40$ м $r_{3т} = 24$ м; $r_{3п} = 4$ м; б) при $10 \text{ м} \leq L \leq 40$ м $r_{3т} \geq 80$ м; $r_{3п} = 0,5 r_{3т}$ в) при $L < 10$ м $r_{3т} = 40$ м; $r_{3п} = 20$ м

сопротивлений поверхностных и подстилающих слоев грунта) близкое к действительному значению сопротивления может быть получено при различном соотношении расстояний от испытуемого заземляющего устройства до потенциального и до токового электродов.

Измерительные электроды рекомендуется размещать по однолучевой схеме рис. 7.4: токовый электрод T на расстоянии $r_{3T} = 2D$ (предпочтительно $r_{3T} = 3D$) от края испытуемого заземляющего устройства (D — наибольшая диагональ заземляющего устройства) и потенциальный электрод Π устанавливаются поочередно на расстояниях $0,2 r_{3T}$; $0,3 r_{3T}$; $0,4 r_{3T}$; $0,5 r_{3T}$; $0,6 r_{3T}$; $0,7 r_{3T}$; $0,8 r_{3T}$.

Измерения сопротивления производят при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек. По данным измерений строится кривая зависимости сопротивления от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства $3У$.

Если вид полученной зависимости соответствует изображенной на рис. 7.4 сплошной линией, а значения сопротивлений, измеренные при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4 r_{3T}$ и $0,6 r_{3T}$, отличаются не более чем на 10%, то за сопротивление заземляющего устройства принимается величина, измеренная при расположении потенциального электрода на расстоянии $0,5 r_{3T}$.

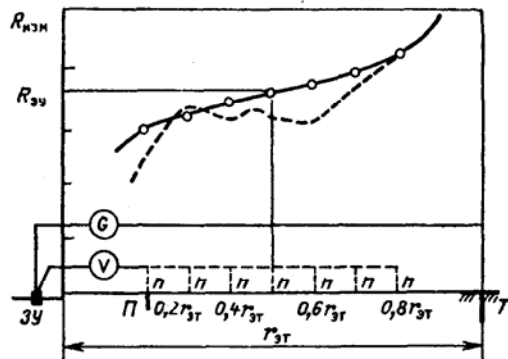


Рис. 7.4. Пример построения зависимости измеренного сопротивления заземляющего устройства от положения потенциального электрода

Если значения сопротивлений, измеренные при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4 r_{3T}$ и $0,6 r_{3T}$, отличаются более чем на 10%, то измерения сопротивлений необходимо повторить при увеличенном в 1,5—2 раза расстоянии до токового электрода.

Если полученная измерением зависимость сопротивления отличается от зависимости, изображенной сплошной линией (например, как изображенная штриховой линией), что может быть следствием влияния подземных или наземных коммуникаций, то измерения должны быть повторены при расположении токового электрода в другом направлении от заземляющего устройства. Измерительные электроды должны быть приняты в соответствии с инструкцией к применяемому прибору.

Измерительные приборы (амперметр, вольтметр, измеритель заземления) и трансформатор тока должны иметь класс точности не менее 2,5. При применении измерителей сопротивления (например, типа МС-08) или геофизического прибора ИКС их токовые и потенциальные зажимы следует присоединять к испытуемому заземлителю отдельными проводниками.

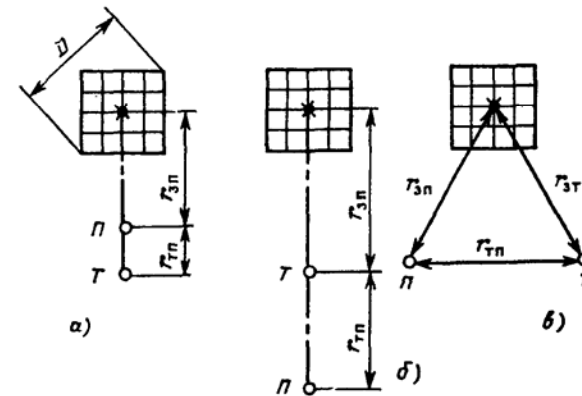


Рис. 7.5. Основные схемы взаимного расположения заземлителя 3 и электродов T и Π :

$a, б$ — однолучевые схемы; $в$ — двухлучевая схема; \times — центр заземлителя

В целях исключения возможного влияния посторонних токов на результаты измерения необходимо проверить наличие напряжения между заземлителем и потенциальным электродом при отключенном источнике измерительного тока.

При наличии напряжения от посторонних токов необходимо принять меры к возможному уменьшению его значения (например, отключить электро-сварку) или уменьшению его влияния.

Для этой цели рекомендуется повысить измерительное напряжение (если это возможно по условиям техники электробезопасности) или использовать

отстройку по частоте (применить прибор типа ИКС или МС-08). В отдельных случаях может помочь также изменение направления разноса измерительных электродов. Схема разбирается лишь после выполнения всех измерений и подсчетов, подтверждающих удовлетворительный результат измерений.

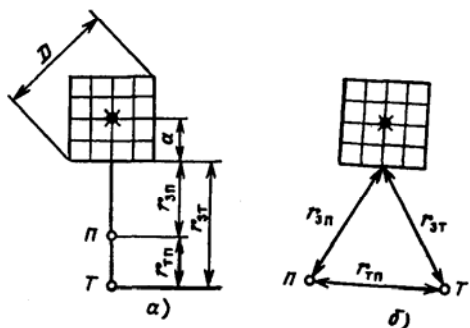


Рис. 7.6. Определение расстояний до электродов T и Π от края контура сложного заземлителя:
 a — однолучевая схема; $б$ — двухлучевая схема;
 \times — центр заземлителя

Наибольшее сопротивление заземлитель имеет летом при наибольшем высыхании земли или зимой при наибольшем ее промерзании. Если сопротивление заземлителя измерялось в сезон, отличный от предполагаемого сезона наибольших его значений, то измеренную величину R , умножают на сезонный коэффициент сопротивления заземлителя K_c . При измерении R сложных заземлителей в виде замкнутого контура целесообразно отмерять

расстояния от края контура, как показано на рис. 7.5, 7.6, при этом расстояние от геометрического центра сложного заземлителя до края контура a следует определять, используя проектные данные.

Если заземлитель выполнен в виде одиночной горизонтальной полосы с рядом вертикальных электродов (гребенка) или без них (простой горизонтальный), то результаты измерения R оказываются достаточно точными при расположении T и Π в соответствии с рис. 7.7.

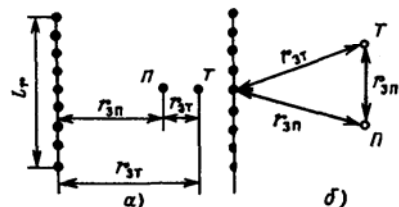


Рис. 7.7. Схемы расположения электродов T и Π при измерении сопротивления сложного заземлителя в виде гребенки:
 a — однолучевая, $б$ — двухлучевая

7.3. Измерение напряжения прикосновения

При измерениях в процессе приемо-сдаточных испытаний и при периодических измерениях в эксплуатации рекомендуется применять метод амперметра — вольтметра.

Метод амперметра — вольтметра при повторно-кратковременном приложении напряжения до 500 В промышленной частоты (длительность импульсов 0,05—0,1 с, длительность пауз 5—10 с) позволяет получить большое значение измерительного тока при обеспечении электробезопасности производства измерений без специально принимаемых мер. Сущность метода амперметра — вольтметра заключается в одновременном измерении тока (измерительного), стекающего с заземлителя, и напряжения прикосновения, обусловленного этим током.

Измерительная цепь (рис. 7.8) состоит из источников питания (ЭДС или тока), испытуемого заземлителя $3V$, токового электрода T , потенциального электрода Π , проводов и измерительных приборов.

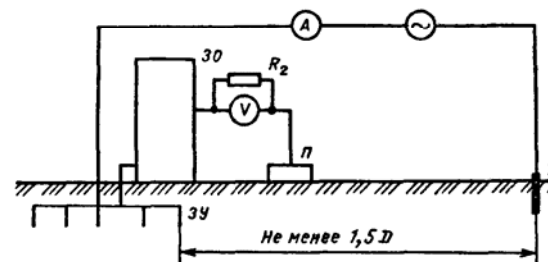


Рис. 7.8. Принципиальная схема измерения напряжения прикосновения по методу амперметра — вольтметра:
 $3V$ — заземляющее устройство; $3O$ — заземленное оборудование;
 Π — потенциальный электрод; T — токовый электрод; R — резистор, имитирующий сопротивление тела человека

Напряжение прикосновения измеряется, как разность потенциалов между доступными прикосновению заземленными металлическими частями оборудования или конструкции и потенциальным электродом, имитирующим подошвы человека, стоящего в контрольной точке на земле (на полу). Сопротивление тела человека имитируется эквивалентным сопротивлением параллельно включенных вольтметра V и резистора R .

При использовании метода амперметра — вольтметра в качестве источника ЭДС могут применяться трансформатор собственных нужд, разделительный трансформатор с вторичным напряжением до 500 В и мощностью

до 100 кВ · А, питающийся от трансформатора собственных нужд, автономный генератор.

Для осуществления повторно-кратковременного режима приложения напряжения рекомендуется применять бесконтактный тиристорный короткозамыкатель с регулируемой длительностью импульсов и пауз.

При использовании трансформатора собственных нужд схема токовой цепи собирается в соответствии с рис. 7.9. Нейтраль вторичной обмотки трансформатора при этом заземляется. Если имеется возможность изменить место заземления нейтрали, ее заземление следует выполнять в точке *A* в соответствии с указаниями для заземления вторичной обмотки разделительного трансформатора.

При использовании тиристорного короткозамыкателя (ЭКЗ) он включается последовательно в токовую цепь. При использовании разделительного трансформатора токовая цепь выполняется в соответствии с рис. 7.9, б.

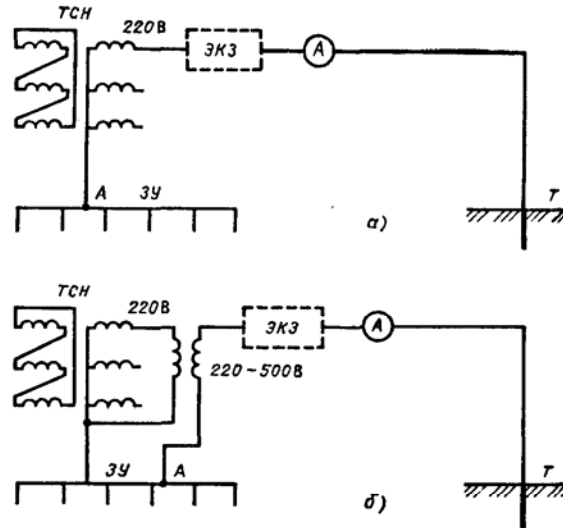


Рис. 7.9. Принципиальные схемы токовых цепей при измерениях напряжений прикосновения по методу амперметра — вольтметра:

а — от фазы трансформатора собственных нужд (ТСН), б — через дополнительный трансформатор

Точка ввода тока в заземляющее устройство (точка *A*) располагается:

- а) при измерениях у рабочих мест — непосредственно у места измерений;
- б) при измерениях на остальной территории — по одному из двух вариантов: при заземленных нейтралях силовых трансформаторов — у места

заземления нейтрали одного из трансформаторов (предпочтительно с наибольшей мощностью); при разземленной нейтрали силового трансформатора и наличии короткозамыкателя — в месте заземления короткозамыкателя.

В качестве потенциального электрода следует применять металлическую квадратную пластину размером 25 × 25 см. (рис. 7.10). Поверхность земли в контрольных точках должна быть тщательно выровнена (в габаритах потенциального электрода). Землю под потенциальным электродом рекомендуется увлажнять на глубину 2—3 см. На потенциальный электрод (пластину) должен быть положен груз массой не менее 30 кг.

Измерительный ток и точность измерения напряжений прикосновения зависят от сопротивления и расположения токового электрода.

Сопротивление токового электрода, как правило, не должно превышать сопротивление испытываемого заземлителя более чем в 20 раз.

Расстояние между ближайшей частью испытываемого заземлителя и токовым электродом должно быть не менее 1,5 *D* (*D* — больший линейный размер заземлителя в плане, но не менее 20 м. Если заземлитель имеет внешний замкнутый контур, то *D* — большая диагональ). Токовый электрод не должен располагаться вблизи подземных металлических коммуникаций (трубопроводы, кабели с металлической оболочкой и броней) или железобетонных оснований и фундаментов, имеющих металлическую связь с испытываемым заземлителем или проходящих вблизи него.

В случае отсутствия заземлителей, которые могли быть использованы в качестве токового электрода, токовый электрод (заземлитель) рекомендуется выполнять в виде нескольких соединенных проводниками вертикальных стержневых заземлителей диаметром 10—12 мм и длиной 1,5—2,5 м, погружаемых в землю на глубину 1,2—2,2 и на расстоянии 3,5 м один от другого. При удельном сопротивлении земли до 100 Ом · м в качестве токового электрода обычно достаточно использовать два-три вертикальных стержневых заземлителя, при большом удельном сопротивлении земли — четыре и более вертикальных заземлителей.

При измерении методом амперметра — вольтметра токовую цепь следует выполнять изолированным проводом, сечение которого выбирается исходя из ожидаемого значения измерительного тока, но не менее 2,5 мм². Падение

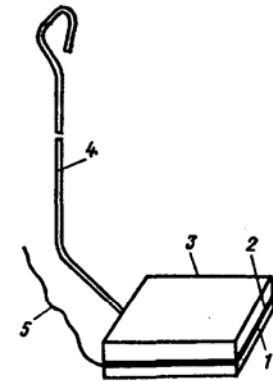


Рис. 7.10. Потенциальный электрод, имитирующий две ступни человека:

- 1 — влажная суконная прокладка;
- 2 — медная пластина; 3 — пластина из изоляционного материала;
- 4 — рукоятка переноса электрода;
- 5 — проводник для подключения потенциального электрода к вольтметру

напряжения в токовом проводе, как правило, не должно превышать 10% номинального напряжения источника питания. Потенциальная цепь должна выполняться изолированным проводом с сечением, выбранным по механической прочности.

Эквивалентные сопротивления включенных параллельно вольтметра и резистора не должны выходить за пределы $1 \pm 0,05$ кОм (если входное сопротивление вольтметра равно или больше 20 кОм, то следует использовать резистор с сопротивлением 1 кОм).

Амперметр, трансформатор тока и вольтметр должны иметь класс точности не менее 2,5. Рекомендуется применять многопредельные вольтметры с пределами измерений от долей вольта до нескольких сотен вольт. Можно использовать находящиеся в эксплуатации многопредельные вольтамперметры, например Ц430, Ц433, Ц434 и др.

При применении метода амперметра — вольтметра с повторно-кратковременным приложением напряжения к испытываемому заземлителю измерения действующих значений напряжения прикосновения и измерительного тока должны выполняться с помощью импульсных вольтметра и амперметра. Пределы измерений приборов рекомендуется выбирать так, чтобы при измерениях стрелка прибора отклонялась не менее чем на две трети шкалы.

На точность измерений могут оказывать значительное влияние так называемые посторонние токи в земле (блуждающие токи, а также обусловленные рабочим режимом электроустановки токи, стекающие с заземлителя в землю). Поэтому перед измерениями необходимо выяснить наличие посторонних токов в земле, принять по возможности меры к их уменьшению или обеспечить условия, при которых напряжение на заземлителе от измерительного тока было бы по крайней мере в 10 раз больше, чем значение напряжения, обусловленное посторонними токами.

Напряжения помех следует определять по показанию вольтметра при отключенном источнике питания измерительной цепи.

Напряжения прикосновения рекомендуется измерять в контрольных точках, в которых эти значения определены расчетом при проектировании. Для сопоставления измеренных и расчетных значений напряжений прикосновения необходимо пересчитать измеренные значения на расчетный ток короткого замыкания с учетом сезонных изменений удельных сопротивлений грунта.

Программа измерений при КЗ должна включать схему первичных соединений, выделяемые для КЗ, схему измерений, порядок подготовки схем, перечень выделяемого оборудования, порядок измерений, перечень мер, обеспечивающих безопасность, перечень ответственных лиц.

Измеренные значения напряжений прикосновения должны быть приведены к расчетному току замыкания на землю и к сезонным условиям, при которых напряжения прикосновения имеют наибольшее значение, по формуле:

$$U_{пр} = U_{изм} \frac{I_{к. расч}}{I_{изм}} \frac{1000 + R_{ст. изм. ср}}{1000 + R_{ст. min}}$$

где $U_{изм}$ — измеренное значение напряжения прикосновения при токе в измерительной цепи;

$I_{к. расч}$ — расчетный для заземляющего устройства ток короткого замыкания;

$R_{ст. изм. ср}$ — среднее значение сопротивлений потенциального электрода, измеренных по схеме рис. 7.4 в момент измерения напряжений прикосновения;

$R_{ст. min}$ — минимальное значение сопротивления потенциального электрода.

Сопротивление потенциального электрода $R_{ст. изм}$ измеряется с помощью мегаомметра со шкалой от 100 Ом в четырех-шести точках измерения напряжения прикосновения при существующей при этих измерениях влажности грунта (при сухом грунте во время измерения $U_{пр}$ производится увлажнение грунта под потенциальным электродом на глубину 2—3 см). Для пересчета используется среднее из измеренных значений $R_{ст. изм}$.

Минимальное значение сопротивления потенциального электрода $R_{ст. min}$ измеряется по схеме рис. 7.4 в одной из точек после измерения $U_{пр}$ и $R_{ст. изм}$ при искусственно увлажненном на глубину 20—30 см грунте.

При отсутствии возможности увлажнения грунта на глубину 20—30 см ρ_3 принимается по следующим значениям:

Грунт в месте измерений	Удельное сопротивление, Ом
Бетон, травяной покров на глинистом грунте, супесь без травы.....	250
Песок, песчано-гравийная смесь, очень мелкий загрязненный почвой щебень, травяной покров на песке.....	1 200
Щебень, загрязненный почвой, метлахская плитка.....	10 000

Если при измерениях $R_{ст. изм}$ получилось меньше указанных значений, то $R_{ст. min}$ принимается равным $R_{ст. изм}$.

Если во время измерения напряжений прикосновения грунт на площадке подстанции (ПУ) увлажнен на глубину 30—40 см и более, то вместо поправочного коэффициента

$$\frac{1000 + R_{ст. изм}}{1000 + R_{ст. min}}$$

применяется коэффициент, равный 1,5.

Полученные данные при измерении вносятся в протокол.

ПРОТОКОЛ
испытания заземляющего устройства

Продолжение протокола

(объект)

1. Характеристика электроустановки (заземляемого объекта)

Номинальное напряжение РУ кВ

По проекту	Режим нейтрали		
	Расчетный ток однофазного КЗ, кА	для рабочих мест	
		для остальной территории	
	Время отключения КЗ, с	основной защитой	
резервной защитой			
В период измерения	Расчетный ток однофазного КЗ, кА	для рабочих мест	
		для остальной территории	
	Время отключения КЗ, с	основной защитой	
		резервной защитой	

Расчетные формулы:

2. Проверка состояния элементов заземляющих устройств

Заземление выполнено по проекту _____

Чертежи № _____

Отклонения от проекта: _____

согласованы _____

Акт на скрытые работы см. _____

Осмотром мест подключения подлежащего заземлению электрооборудования, элементов наружной сети заземляющего устройства установлено, что _____

3. Измерение напряжения прикосновения

Сопротивление потенциального электрода:

Ом (среднее) _____ Ом (при искусственном увлажнении)

Расчетная точка по проекту	Измерено сопротивление, R, Ом	Измерительный ток I, А	Напряжение прикосновения, В			Заклчение
			измеренное	расчетное	допустимое	

Состояние грунта при измерении _____
(влажный, сухой, мерзлый)

Погода при измерении _____
(сухо, дождь, снег, температура воздуха)

Измерительные приборы _____

4. Измерение сопротивления заземляющего устройства

Зависимость измеренного сопротивления от положения потенциального электрода	Относительное расстояние до потенциального электрода	Сопротивление, Ом
	0,2	
	0,3	
	0,4	
	0,5	
	0,6	
	0,7	
0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9	Метеорологические условия	

Расчетный потенциал на заземляющем устройстве _____

Сопротивление измерялось методом _____

_____ прибором

Схема контура заземления, места подключения измерительных приборов при измерении и размещение вспомогательных электродов (указать размеры контура, расстояние А до токового электрода и до потенциальных электродов)

Примечание: _____

Заключение: _____

Испытание

произвел _____

(подпись, фамилия, дата)

7.4. Приборы для измерения электрических параметров заземляющих устройств

В настоящее время приборостроительная промышленность для измерения сопротивления заземляющих устройств серийно выпускает приборы типов М416 и Ф4103 (см. также [22]).

Измеритель сопротивления заземляющих устройств типа М416 имеет встроенный источник постоянного тока (три сухих элемента типа 373 «Марс»), преобразователь постоянного тока в измерительный переменный с частотой 950—1125 Гц и измерительное устройство, работающее в режиме компенсатора. Прибор имеет класс 4, масса не превышает 3 кг.

Применение измерительного тока повышенной частоты ограничивает область применения прибора М416 заземляющими устройствами, имеющими сравнительно небольшие размеры в плане, при которых индуктивная составляющая сопротивления заземляющего устройства при частоте 50 Гц по крайней мере на порядок ниже активной составляющей. Поэтому этот прибор можно рекомендовать к использованию в основном для измерения сопротивления заземляющих устройств электроустановок напряжением до 1 кВ с изолированной и глухозаземленной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств электроустановок напряжением выше 1 кВ с эффективным заземлением нейтрали (т. е. в электроустановках напряжением 110 кВ и выше) следует применять новый прибор типа Ф4103.

Прибор имеет встроенный источник постоянного тока, обеспечивающий не менее 800 измерений, преобразователь постоянного тока в стабилизированный переменный частотой 280 Гц и оригинальную измерительную схему, обладающую высокой помехозащищенностью. Наличие восьми диапазонов измерения с пределами от 0,03 до 1000 Ом при высоком входном сопротивлении, равном 840 кОм, класса 4 в диапазонах до 0,3 Ом и 2,5 во всех остальных диапазонах позволяет надежно измерять сопротивление заземляющих устройств электроустановок практически всех напряжений.

К достоинствам приборов следует отнести также высокие допустимые сопротивления потенциального и токового электродов, соответственно равные 2 и 1 кОм в диапазонах измерения сопротивления до 0,3 Ом, 12 и 6 кОм — до 1000 Ом.

7.5. Требования безопасности при производстве измерений

Работы по измерениям электрических характеристик заземляющих устройств распределительных устройств (РУ) и трансформаторных подстанций переменного тока напряжением выше 1 кВ должны выполняться в соответствии с правилами техники безопасности (ПТБ) при эксплуатации электроустановок электрических станций и подстанций.

Работы по измерениям электрических характеристик заземляющих устройств действующих РУ и подстанций должны выполняться по нарядам, в которых должны предусматриваться необходимые меры обеспечения безопасности.

При измерениях на действующих РУ и подстанциях с использованием вынесенных за пределы электроустановки токового и потенциального электродов должны приниматься меры для защиты от воздействия полного напряжения на заземлителе при стекании с него тока однофазного короткого замыкания.

Персонал, производящий измерения, должен работать в диэлектрических ботах, резиновых перчатках, пользоваться инструментом с изолирующими ручками и соблюдать все другие меры безопасности согласно действующим ПТБ. При сборке измерительных схем следует соблюдать последовательность соединения проводов токовой и потенциальной цепей. Сначала присоединяют проводник к вспомогательному заземлителю (токовому, потенциальному) и лишь затем к соответствующему измерительному прибору.

При измерениях методом амперметра — вольтметра с применением напряжения выше 1 кВ при длительном приложении напряжения к заземляющему устройству следует предусматривать меры по обеспечению безопасности в районе токового электрода. Необходимо оградить окружающую токовый электрод зону с радиусом 5 м и выставить охрану для предотвращения появления в этой зоне людей и животных.

При измерениях методом короткого замыкания одной фазы сети высокого напряжения на заземляющее устройство должны быть приняты меры, исключая пребывание людей на открытой части подстанции или РУ, кроме лиц, выполняющих измерения и располагающихся на специальных площадках.

Список литературы к разделам I—VII

А. Общие вопросы

1. Оллендорф Ф. Токи в земле. — М. — Л. Гостехиздат, 1932.
2. Рюденберг Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1955.
3. Бургсдорф В. В., Якобс А. И. Заземляющие устройства электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Карякин Р. Н. Тяговые сети переменного тока, изд. 2-е, перераб. и дополн. — М.: Транспорт, 1987.
5. Карякин Р. Н., Солнцев В. И. Заземляющие устройства промышленных электроустановок. Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Карякин Р. Н., Солнцев В. И. Использование железобетонных фундаментов производственных зданий в качестве заземлителей. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
7. Карякин Р. Н. Нормативные основы устройства электроустановок. — М.: Энергосервис, 1998.

Б. Правила, нормы и стандарты

1. Правила устройства электроустановок. 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Строительные нормы и правила. СНиП 3.05.06—85. Электротехнические устройства. Госстрой СССР, 1986.
3. ГОСТ 12.1.030—81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
4. ГОСТ 12.1.038—82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5. ГОСТ Р 50 669—94. Электроснабжение и электробезопасность мобильных (инвентарных) зданий из металла или с металлическим каркасом для уличной торговли и бытового обслуживания населения. Технические требования.
6. ГОСТ Р 50 571.1—93 (МЭК 364-1-72, МЭК 364-2-70). Электроустановки зданий. Основные положения.
7. ГОСТ Р 50 571.2—94 (МЭК 364-3-93). Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики.
8. ГОСТ Р 50 571.3—94 (МЭК 364-4-41-92). Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
9. ГОСТ 50 571.4—94 (МЭК 364-4-42-80). Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий.
10. ГОСТ Р 50 571.5—94 (МЭК 364-4-43-77). Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока.
11. ГОСТ Р 50 571.6—94 (МЭК 364-4-45-84). Требования по обеспечению безопасности. Защита от понижения напряжения.

12. ГОСТ Р 50 571.7—94 (МЭК 364-4-46-81). Требования по обеспечению безопасности. Отделение, отключение, управление.
13. ГОСТ Р 50 571.8—94 (МЭК 364-4-47-81). Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током.
14. ГОСТ Р 50 571.9—94 (МЭК 364-4-473-77). Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков.
15. ГОСТ Р 50 571.10—96 (МЭК 364-5-54-80). Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники.
16. ГОСТ Р 50 807—95 (МЭК 755-83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током. Общие требования и методы испытаний.
17. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. (РД 34.21.122—87). Минэнерго СССР. М. 1988.
18. Инструкция по устройству сетей заземления и молниезащите. (Авторы-составители: Карякин Р. Н., Коновалова Л. К., Солнцев В. И.). Концерн «Электромонтаж». М. 1992.
19. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора России. АОЗТ «Энергосервис». М. 1996.
20. Рекомендации по геофизическим работам при инженерных изысканиях для строительства (электроразведка). ПНИИС Госстроя СССР. Стройиздат. М. 1984.
21. Руководство по интерпретации кривых ВЭЗ МДС. ПНИИС Госстроя СССР. Стройиздат. М. 1984.
22. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования. Энергосервис. М. 1998.